

刘洪良,冉志杰,刘龙,等.唐山地区跨断层流动形变监测场地优选[J].华北地震科学,2018,36(3):59-65.

# 唐山地区跨断层流动形变监测场地优选

刘洪良<sup>1</sup>,冉志杰<sup>2</sup>,刘 龙<sup>2</sup>,张展伟<sup>1</sup>,云 萌<sup>1</sup>,彭远黔<sup>2\*</sup>

(1.河北省地震局流动测量队,河北 保定 071000;2.河北省地震局,石家庄 050021)

**摘要:**针对隐伏断裂的特点,在前人研究成果的基础上,充分利用唐山活动断层探测成果,进行野外调查;依据相关规范,结合环境条件、自然条件,对 6 个场地进行了综合分析,优选出适宜于跨断层流动形变监测的场地。

**关键词:**唐山地区;隐伏断裂;跨断层测量场地优选

**中图分类号:**P315.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-1375(2018)03-0059-07

**doi:**10.3969/j.issn.1003-1375.2018.03.009

## 0 引言

自地震的断层成因说提出以来,断层位移与地震的关系受到了地学工作者的特别关注。为了解产生地震的断层力学过程,捕捉地震前兆,实施了多种手段和方法的跨断层测量。跨断层短水准测量作为形变测量的重要手段之一,在多次地震前监测到异常变化,如 1990 年 2 月 10 日常熟 5.1 级地震<sup>[1]</sup>、1995 年苍山 5.2 级地震前出现了断层形变前兆异常<sup>[2]</sup>、芦山 7.0 级地震前跨鲜水河、安宁河、则木河断裂带上形变出现显著的异常变化<sup>[3]</sup>。

唐山位于华北平原活动构造带、郯庐活动构造带和叠加在 NE 向构造带之上的张家口—蓬莱活动构造带的交汇部位,地质构造复杂,断裂活动频繁,极易引发地震灾害。唐山及周边地区所属的华北地块一直以来地震活动性强,自有记载以来,共记录到  $M_s \geq 4.7$  破坏性地震 66 次,其中最大地震为 1976 年唐山 7.8 级地震,极震区内所有建筑物荡然无存,人员死亡达 24.2 万,直接经济损失 100 亿元。1980 年以来,唐山及周边地区虽未发生 6.0 级以上强地震,但小震却从未间断。特别是近年来小震不仅活动频繁,分布也较广泛,唐山地区的地震活动频度在区域地震活动背景中是非常突出的。

20 世纪 60 年代末,华北地区建立跨断层流动形变监测网,该区跨断层流动形变监测场地在 20 世纪 80 年代末最多,达近 100 处。与此同时,在首都

圈地区跨活动断层上建设了跨断层测量固定台站。目前华北地区跨断层流动形变监测场地还有 74 处,其中固定台站河北省境内有 2 处,即易县台和唐山台;流动形变监测场地有 4 处,位于石家庄市西部。

1976 年唐山 7.8 级地震后,在唐山十中院内发育数条地裂缝,将围墙、小路等右旋错断,最大错距 1.3 m。谢觉民等<sup>[4]</sup>研究认为,唐山台站观测到的震后形变基本上可以代表台站所跨断层震后的活动,也在一定程度上揭示了深部隐伏断裂震后的形变信息。2012 年唐山 4.8 级地震发生在 NE 走向的唐山断裂带上,震前一个月唐山台的短基线和短水准均出现了明显的压性短临异常变化,异常幅度约 0.5 mm,而短水准自 5 月 1 日起开始加速上升<sup>[5]</sup>。通过跨断层测量研究华北地区地壳应力场变化与地震之间的相关性,对华北地区地震物理过程的认识及地震预测有着实际意义。

流动形变监测场地的选取是断层形变监测最为基础、重要的环节。测量场地的选取包含 2 部分内容:其一,是针对测量场地所跨活动断裂的选取,所选断裂的活动性对测量工作起着制约性的作用;其二,是针对测量场地条件的选取,应符合相关规范,综合考虑地震地质、地形地貌、环境干扰源等因素。

## 1 唐山地区活动构造背景

唐山地区位于华北平原活动构造带、郯庐活动构造带和叠加在 NE 向的张家口—蓬莱活动构造带

收稿日期:2017-12-04

基金项目:河北省地震科技星火计划项目;河北省跨断层短水准测量观测场地优化方案研究(DZ20170504017)

作者简介:刘洪良(1979—),男,河北文安人,工程师,主要从事重力与水准测量研究. E-mail:lh\_lleo@163.com

\* 通讯作者:彭远黔(1965—),男,重庆人,高级工程师,主要从事工程地震研究. E-mail: pengyq84531@126.com

的交汇部位。东北部为新构造强烈隆起区,主要山脉海拔可达 300 m 以上,构成断块隆起区主体;西北部和东南部均是新构造强烈沉降区,第四系厚度可达 400 m 和 500~700 m,沉降区的新构造运动表现为持续和新生的强烈拗陷,拗陷边界为活动断裂所控制,形成单侧断陷或不对称盆地。

研究表明,第四纪以来活动的断层,特别是晚更新世晚期和全新世仍明显活动的断层,更容易发生地震<sup>[6]</sup>。

唐山及其周边地区大部为第四纪覆盖的平原地区,断裂多呈隐伏状态,发育有 NE、NW 和近 EW 向 3 组第四纪以来活动断层。河北省城市地震活断层探测与地震危险性评价项目(2007—2013 年)在唐山开展过活动断层探测工作,其成果表明,唐山全新世活动断裂为唐山地震断裂带,由唐山—古冶段(F<sub>3-1</sub>)、唐山—南湖段(F<sub>3-2</sub>)、唐山—马家沟段(F<sub>3-3</sub>)3 段组成(图 1)。

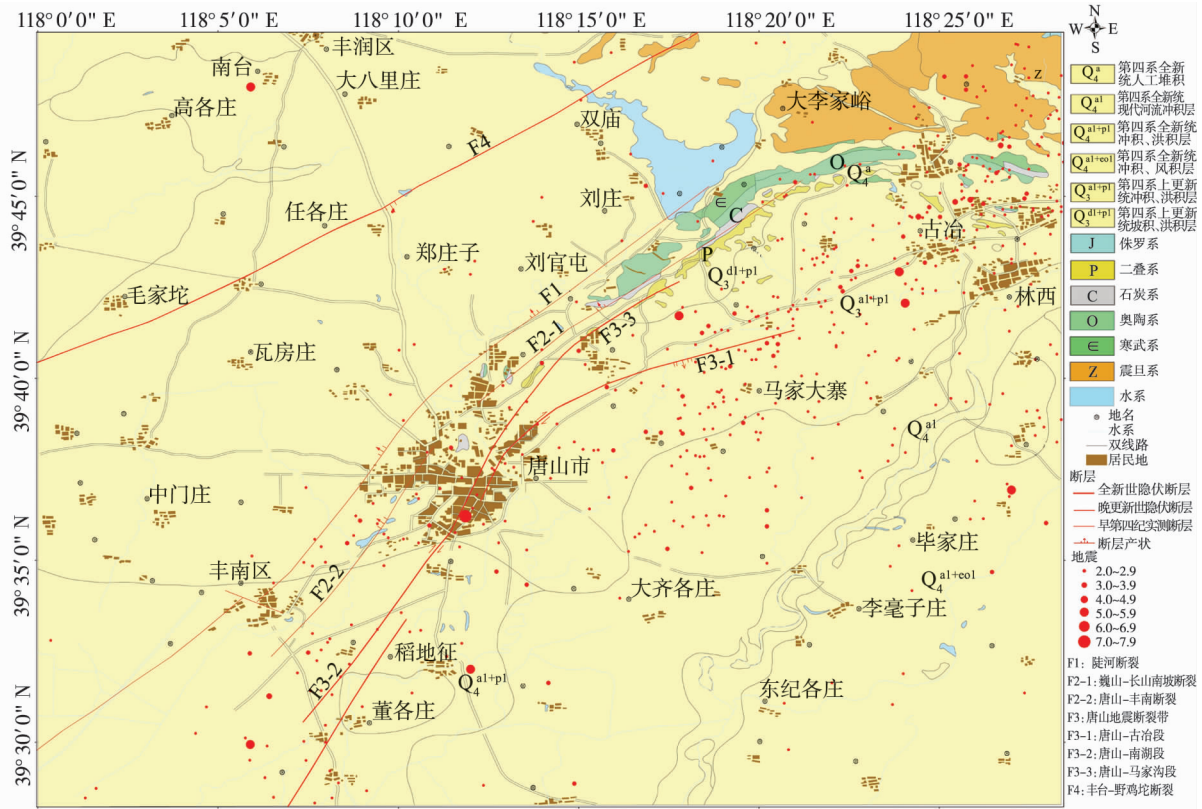


图 1 唐山市区及附近活动断裂分布图<sup>①</sup>

1)唐山—古冶断裂段(F<sub>3-1</sub>)

该断裂段位于唐山城区以北,南自南新道北,向北经开平、古冶一线延出区外,长约 32 km,总体走向 NE 至 NEE,倾向 SE,倾角 50°~60°,逆冲兼走滑性质。该段断裂控制石榴河河谷走向,地貌大致为海拔高 40~80 m 低剥蚀面与冲洪积平原的分界线,是 1976 年唐山 7.8 级地震的发震构造。唐山活动断层探测项目在唐山市东北孩儿屯村南约 1 km 的跨断层钻孔揭示了断裂的活动性。

孩儿屯场地钻探揭示的地层为形成年代小于 0.012 Ma 的全新统,形成时期 0.012~0.128 Ma

的更新统上部欧庄组和更新统中部杨柳青组沉积(未见底)。更新统晚期以来的地层发生了明显的断错和砂层液化现象,全新统和更新统上部存在 4 个断错界面,错距分别为 1.0 m,1.1 m,1.1 m,1.2 m。根据地层的断错、砂层的液化扰动等特征,判断该场地为更新世中期以来一直有活动的地震活断层,断层距地表埋深 5 m。

2)唐山—南湖断裂段(F<sub>3-2</sub>)

该段断裂在空间上由唐山—南湖断裂西支和东支 2 条浅表平行、深部合并为一条近直立呈“Y”字型的逆—走滑和正—走滑断层。

① 北京吉奥星地震工程勘测研究院,中国地震应急搜救中心. 河北省城市活断层探测与地震危险性评价(唐山市项目)技术报告[R]. 2013.

① 唐山—南湖断裂西支:自北部的永红路和平街、十中旧址、牛马库、收容所至针织库,构成了唐山—南湖断裂的主断裂,其西倾近直立,以右旋走滑为主兼具逆冲,造成第四系中更新统底部砾石层约 40 m 的垂直断距,晚更新统底部砾石层约 8 m 的垂直断距,曾发生若干次古地震和砂土液化现象,为第四纪—全新世长期活动,晚更新世以来发生多次古地震事件。1976 年唐山地震在近地表上升盘的隆起核部形成地表裂缝带,并呈 NE 向展布在永红路和平街、十中旧址、牛马库、收容所至针织库。

② 唐山—南湖断裂东支:自北部的礼尚庄、郑家庄至安机寨,构成了唐山—南湖断裂的东支断裂,其西倾近直立,以走滑为主兼具正断,该断裂段西盘下降,东盘上升,并呈 NE 向展布,在孙家楼附近表现为近地表局部震陷,向南断裂带正一走滑断层断错规模逐渐加大,该断裂段为第四纪—全新世长期活动,发生多次古地震事件。唐山活动断层探测项目在十中旧址、牛马库、孙家楼和西河村进行的钻孔联合剖面探测揭示了断裂的活动性。

十中旧址场地钻孔揭示的地层为形成年代小于 0.012 Ma 的全新统、形成时期 0.012~0.128 Ma 的更新统上部欧庄组和时限标准为 0.128~0.73 Ma 的更新统中部杨柳青组沉积(未见底)。根据地层、沉积和热释光测年数据,更新统中期以来的地层内存在重大的地震断层活动的痕迹,存在 8 个重要断错界面。在孔深 5 m 之上断错 1 m 左右,在欧庄组中断错规模 5~8 m 的断层,在杨柳青组中断错规模 25~40 m,总体断错距离从上向下依次增大。此外,在钻孔的岩芯中可见多期次砂土液化现象,断层距地表埋深 1.3 m。

牛马库场地钻孔所揭示地层由亚砂、亚黏和粉细砂组成的 13 层地层,代表冲积平原的沉积。钻孔揭示有 4 次断层活动事件,分别发生在地表以下 5~7 m、9~13 m、25~29 m 处,该场地断层出露地表。

孙家楼场地钻孔揭示的 20 层地层以粉细砂为主,含中粗砂,并与亚砂、黏土相间分布,显示了冲积平原的沉积。钻孔揭示发生过 5 次地震活动事件,垂直位移分别是 0.8 m、1.1 m、0.8 m、0.7 m 和 1.8 m,后 4 次地震事件断错的地层年代距今 41.43~52.40 ka、52.40~57.60 ka、75.18~103.60 ka、103.97~114.92 ka。场地存在地表 0.8 m 的落差,是 1976 年唐山地震时断层活动造成的。

西河村场地钻孔揭示的地层分为 4 大套、11

层,在地表以下 5~6 m 为第 I 套地层,以褐色黏土为主;第 II 套地层是灰黑色黏土、亚黏土,含灰黑色粉细砂及亚砂,厚 16~18 m。第 III 套地层为黄色粉砂、黄灰色黏土、亚砂土,厚约 22~28 m;第 IV 套地层以灰色粉细砂为主,含亚砂、亚黏及黏土,厚约 10~16 m。钻孔揭示发生过 5 次地震活动事件,垂直位移分别是 1.3 m、1.4 m、0.7 m、1.4 m 和 4.6 m。1976 年唐山地震后出现的地表约 1.3 m 垂直位移,是地震形成的下部地层同时存在断错的地表破裂带。

### 3) 唐山—马家沟矿断裂段(F<sub>3-3</sub>)

唐山—马家沟矿断裂段为马家沟矿和唐山矿倒转向斜倒转翼的主边界断裂,位于唐山市区东北,开平以西,整体呈 NNE 向展布,由 NWW 向 SEE 逆冲的一组断裂组成,部分剖面几乎断错到地表。唐山活动断层探测项目在古楼庄村、钢厂道进行的钻孔联合剖面探测揭示了断裂的活动性。

古楼庄场地钻孔揭示发育有全新统和更新统上部欧庄组(118.64±13.05 ka),下伏二叠系基岩及其风化壳。第四系地层主要由洪积相或洪冲积相地层组成,沉积物主要为杂色粘土、粉砂质粘土、细砂和中细砂;第四系平均厚度为 10.04 m,其中,全新统平均厚度 1.18 m,欧庄组平均厚度 2.28 m。钻孔揭示该场地存在 2 条断层,其中一条断层断错第四系欧庄组底界 0.9 m,断错全新统底界 1.0 m,上断点埋深约 0.5 m,为全新世活动断层。

钢厂道场地钻孔揭示第四系地层为第四系全新统、更新统上部欧庄组和更新统中部杨柳青组,下伏基岩及风化壳为奥陶系灰岩地层。第四系地层主要由河流相和洪积相地层组成,沉积物主要为粘土、粉砂质粘土、泥质粉砂、细砂、中粗砂和砾石;第四系平均厚度为 62 m,其中,全新统平均厚度 2.25 m,欧庄组平均厚度 29.25 m,杨柳青组平均厚度为 30.5 m。钻孔揭示该场地断裂的最新活动时代为全新世,断错的层位包括 Q<sub>h</sub>、Q<sub>p</sub><sup>3</sup>、Q<sub>p</sub><sup>2</sup>、基岩,共计 9 个断错界面,错距自上而下依次为 1.9 m、2.3 m、1.8 m、1.5 m、1.6 m、2.0 m、2.3 m、2.4 m、2.6 m,自上而下总体呈现依次加大的趋势。

## 2 监测场地优选思路

有关跨断层监测场地选址相关国家和行业标准有:中华人民共和国地震行业标准 DB/T 8.3—2003《地震台站建设规范 地形变台站第 3 部分:断层形变台站》<sup>[7]</sup>;中华人民共和国国家标准 GB/T

19531.3—2004《地震台站观测环境技术要求 第3部分:地壳形变观测》<sup>[8]</sup>;中华人民共和国地震行业标准 DB/T47—2012《地震地壳形变观测方法 跨断层位移测量》<sup>[9]</sup>;中华人民共和国地震行业标准 DB/T5—2015《地震水准测量规范》<sup>[10]</sup>。上述标准中对场地选址的要求为:

**地震地质条件:**观测场地布设在活动断裂的活动段(全新世),测线应跨越活动断裂带的主断层;首选基岩出露场地;无基岩出露场地覆盖层厚度应小于30 m,并且地表土坚实。

**地形地貌条件:**观测场地宜选址在地形平坦、视野开阔,有利于长期观测;地势低洼、地下水水位较

高地区;泥石流、滑坡等地质灾害易发地段,古河道、河堤、冲积层河岸;陡坎和风口等地段不宜选址。

**环境干扰源:**①振动干扰源:产生高频振动、爆破冲击振动行为,如:机场、铁路、公路、采石、采矿、冲压、粉碎作业场地等;②荷载干扰源:由于物资增减、迁移,使地面单位面积荷载变化,引起地壳形变的来源,如:海域潮汐、水库、湖泊、河流;采空区荷载的变化;大型建筑、仓库、重型工厂的荷载变化;③水文地质环境变化干扰源:引起地壳形变观测场地水文地质参数或性质变化,如:采油、抽水、注水等。上述环境干扰源距跨断层测量的具体规定如表1所示。

表1 跨断层形变测量环境要求

序号	干扰源	距观测仪器 最小距离/m
1	矿区、油气开采区	5 000
2	大树	10
3	海洋	500
4	$1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上的大、中型水库、湖泊岸	500
5	工程总荷载变迁质量大于 $5 \times 10^7 \text{ kg}$ 的建筑、工厂、仓库、列车编组站等	500
6	铁路、三级以上公路	500
7	采石、采矿爆破点、冲击振动设备等振动源	1 000
8	单段炮震药量大于 500 kg 以上的采石、采矿爆破点	2 000
9	冲击力大于等于 $2 \times 10^3 \text{ kN}$ 的冲击振动设备	500
10	抽(注)量为 $5 \sim 100 \text{ m}^3/\text{d}$ 、水位降深 5 m 以下的抽(注)水井、采油井	500
11	抽(注)量大于 $100 \text{ m}^3/\text{d}$ 、水位降深 5 m 以上的抽(注)水井、采油井	1 000
12	地下水漏斗沉降区	500
13	35 kV 及以上电压的高压输电线、变压器等电磁骚扰源	300
14	微波通讯和强电磁源等	干扰影响估算:水平分量重复精度不大于 1.0 mm,垂直分量重复精度不大于 2.0 mm

唐山市活动断层位于第四纪覆盖地区,为隐伏断层。跨断层流动形变监测场地选址除满足相关规范要求外,还应根据断层埋藏情况确定。本次确定形变监测场地优选的总体思路是:依据唐山市活动断层探测结果、选择全新世活动断层的活动段落,且全新世活动特征具有直接证据,被探槽或钻孔直接揭露;场地环境干扰满足相关规定;场地平坦、交通便利;距村镇较远,有利于长期观测;测量场地平面

上尽量满足分布均匀;测量场地均能够跨3条全新世活动断层,即唐山地震断裂带的唐山—古冶段( $F_{3-1}$ )、唐山—南湖段( $F_{3-2}$ )、唐山—马家沟段( $F_{3-3}$ )。

### 3 监测场地优选

唐山活动断层探测成果表明,唐山—古冶断裂段、唐山—南湖断裂段、唐山—马家沟矿断裂带段为全新世活动断裂。依据上述监测场地优选思路,以

跨唐山—南湖断裂的西河村场地为例进行选址分析。

郭慧等<sup>[10]</sup>在位于西河村西侧布设钻孔测线(图2),该点在1976年唐山地震时形成约1.3 m的地表垂直落差。在该钻孔测线邻近地段,仍可看到唐山地震时形成的残留陡坎,高约1.1 m。在128 m范围内共钻孔9个,孔深31.0~61.4 m,最大孔距32 m,最小孔距5.0 m。

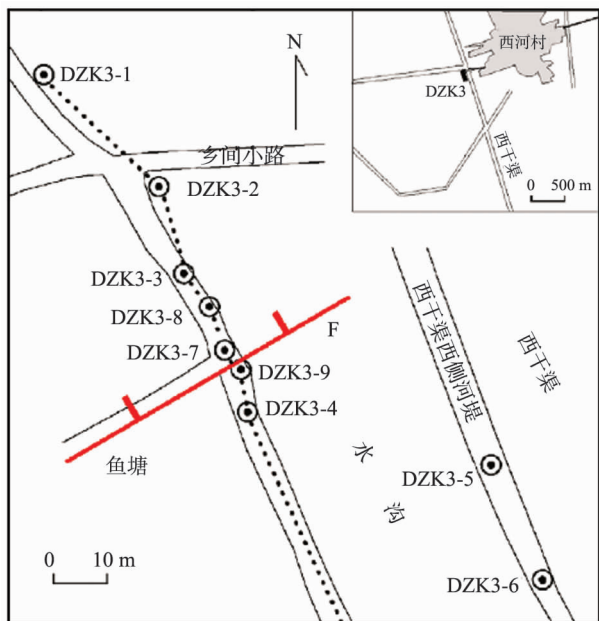


图2 西河村钻孔测线和解释断点位置图

该钻孔联合剖面揭示唐山地震之前发生过4次地震活动事件,垂直位移分别为2.7 m、3.4 m、4.8 m、5.6 m,下部层位的断距大于上部层位的断距,说明该测线地层的落差是断层多期活动的结果。1976年唐山地震后出现的地表约1.3 m的垂直位移,不是其他原因形成的非构造塌陷,而是地震形成的下部地层同时存在断错的地表破裂带。

西河村场地断层埋深很浅,近地表,交通便利,地形平坦,视野开阔(图3);钻孔布设在西干渠河堤上,不易被破坏,适于长期测量;周边无振动干扰源、荷载干扰源和水文地质环境变化干扰源,沿该道路可布设1 000 m跨断层测量测线(图4)。

根据地震活动、断裂活动特征、场地条件,以及相关规范要求,对跨唐山—南湖断裂西支的十中学旧址场地、牛马库场地,跨唐山—南湖断裂东支的孙家楼场地、西河村场地,跨唐山—马家沟矿断裂的古楼庄场地、钢厂道场地进行综合分析,认为十中学旧

址等4个场地不适宜于跨断层测量。各个场地的适宜性分析见表2。



图3 西河村西拟跨断层测量场地地形地貌(镜向北)

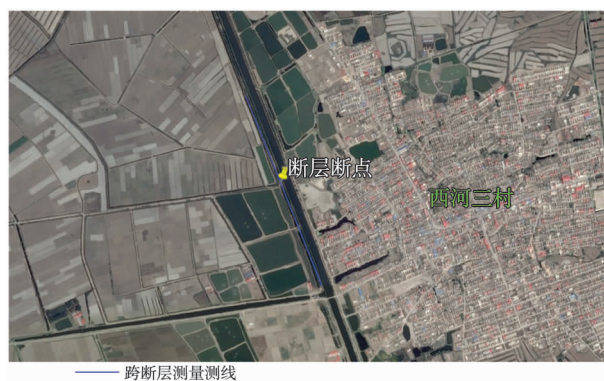


图4 西河村西拟跨唐山—南湖断裂测量场地位置

需要指出的是,唐山市是一座具有百年历史的沿海重工业城市,地处环渤海湾中心地带,是联接华北、东北两大地区的咽喉要地和走廊。由于1976年唐山大地震的原因,在改革开放初期,唐山处于边恢复边建设的时期,1986年恢复建设基本完成后,唐山经济发展驶入了快车道,国民经济和社会各项事业迅速发展,综合经济实力显著增强。唐山交通四通八达,京哈、京秦、大秦3条干线铁路和京榆、唐秦、京唐3条国道穿境而过,京沈(唐山段)、唐津、唐港、西外环4条高速公路交织成网,环城立体立交,构成了现代化交通网络。随着唐山城镇化进程不断加快,市区、城镇人口比例逐年增高,人文活动频繁。发达的经济,交通网络和人文活动对跨断层流动形变监测场地布设产生了很大的影响,突出表现在环境干扰严重,以及城市化不断加快,监测场地难以满足长期监测。

表2 跨断层测量场地综合分析

序号	场地	地震地质、地震活动	地形地貌	环境干扰源	自然条件	结论
1	十中学旧址	位于唐山—南湖断裂西支,为第四纪—全新世长期活动;晚更新世以来发生多次古地震事件;1976年唐山地震在近地表面上升盘的隆起核部形成地表裂缝带;场地覆盖层厚度小于30 m,地表土坚实	场地位于唐山市市区,周边建筑物密集,视野受限	无荷载干扰源和水文地质环境变化干扰源,但存在振动干扰源,周边道路纵横,车流量较大	交通便利;属暖温带半湿润季风气候,年平均气温12.5℃,最低-14.8℃,常年降水500~700 mm	道路纵横,车流量较大;建筑物密集,视野受限,不适宜跨断层测量
2	牛马库	位于唐山—南湖断裂西支,为第四纪—全新世长期活动;晚更新世以来发生多次古地震事件;1976年唐山地震在近地表面上升盘的隆起核部形成地表裂缝带;场地覆盖层厚度小于30 m,地表土坚实	场地位于唐山市市区,周边建筑物密集,视野受限	无荷载干扰源和水文地质环境变化干扰源,但存在振动干扰源,周边道路纵横,车流量较大	交通便利;属暖温带半湿润季风气候,年平均气温12.5℃,最低-14.8℃,常年降水500~700 mm	建筑物密集,视野受限;道路纵横,车流量较大,不适宜跨断层测量
3	孙家楼	位于唐山—南湖断裂东支,为第四纪—全新世长期活动;发生多次古地震事件,1976年唐山地震在近地表面形成陡坎;场地覆盖层厚度小于30 m,地表土松软	场地地形平坦,视野较为开阔,场地周边为庄稼地	无振动干扰源、荷载干扰源和水文地质环境变化干扰源等环境干扰源	交通便利;属温带季风气候,1月平均气温-5℃,7月份平均气温24.8℃,无霜期190 d	场地周边为庄稼地,以及周边村庄建设发展不利于长期观测,不适宜跨断层测量
4	西河村	位于唐山—南湖断裂东支,为第四纪—全新世长期活动,断层近地表,发生多次古地震事件,1976年唐山地震在近地表面形成陡坎;地覆盖层厚度大于30 m,地表土坚实	场地地形平坦,视野开阔。	无振动干扰源、水文地质环境变化干扰源,场地东侧有一干渠,但储水量不大	交通便利;属温带季风气候,1月平均气温-5℃,7月份平均气温24.8℃,无霜期190 d	交通便利,视野开阔,无振动干扰源,适宜跨断层测量
5	古楼庄	位于唐山—马家沟矿断裂段,为全新世活动断层;断层近地表,场地覆盖层厚度小于30 m,地表土坚实	场地地形平坦,视野较为开阔,场地穿村而过	无荷载干扰源、水文地质环境变化干扰源,道路横跨断层,并穿村而过,随着村镇的扩张,不利于跨断层测量的长期观测	交通便利;属暖温带半湿润季风气候,年平均气温12.5℃,最低-14.8℃,常年降水500~700 mm	交通便利,视野较为开阔,无振动干扰源,但穿村而过,可考虑跨断层测量
6	钢厂道	位于唐山—马家沟矿断裂段,为全新世活动断层;场地覆盖层厚度小于30 m,地表土坚实	场地地形平坦,周边建筑物密集,视野受限	无荷载干扰源、水文地质环境变化干扰源,场地位于唐山市市区,道路纵横,车流量较大	交通便利;属暖温带半湿润季风气候,年平均气温12.5℃,最低-14.8℃,常年降水500~700 mm	周边建筑物密集,视野受限;道路纵横,车流量较大,不适宜跨断层测量

## 4 结论

充分利用河北省城市地震活断层探测与地震危险性评价项目(2007—2013年)在唐山开展的活动断层探测成果,结合环境条件、自然条件,以及相关规范要求,对十中学旧址等6个场地进行了综合分析,认为跨唐山—南湖断裂东支的西河村场地适宜

于开展跨断层流动形变监测,跨唐山—马家沟矿断裂的古楼庄场地可考虑开展跨断层流动形变监测(场地位于村庄,随着村镇的扩张,不利于跨断层测量的长期观测),跨唐山—南湖断裂西支的十中学旧址、牛马库场地,跨唐山—南湖断裂东支的孙家楼场地以及跨唐山—马家沟矿断裂的钢厂道场地不适宜于跨断层测量。

## 参考文献:

- [1] 孙昭杞, 范桂英, 王翠菊, 等. 南通地震台的垂直形变与常熟 5.1 级地震[J]. 地震, 1992(3): 36-40.
- [2] 李杰, 赵金花. 苍山 5.2 级地震前后沂沭断裂带地壳垂直形变时空动态演化特征[J]. 地震研究, 2001, 24(4): 307-314.
- [3] 苏琴, 杨永林, 郑兵, 等. 4·20 芦山 7.0 级地震预测思路及过程回顾[J]. 地震地质, 2014, 36(4): 1077-1093.
- [4] 谢觉民, 华彩虹. 唐山地震发震断层动态及其与较强晚期余震的关系[J]. 地震地质, 1999, 21(1): 18-20.
- [5] 张跃刚, 王玉珍, 尹宝军, 等. 2012 年 5 月 28 日河北省唐山 4.8 级地震[J]. 中国地震, 2013, 29(2): 219-229.
- [6] 国家地震局. 跨断层测量规范[M]. 北京: 地震出版社, 1991.
- [7] DB/T 8.3-2003, 地震台站建设规范 地形变台站 第 3 部分: 断层形变台站[S]. 北京: 地震出版社, 2004.
- [8] GB/T 19531.3-2004, 地震台站观测环境技术要求 第 3 部分: 地壳形变观测[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [9] 中国地震局.DB / T47-2012《地震地壳形变观测方法 跨断层位移测量》[S].北京:地震出版社, 2012.
- [10] DB/T 5-2015, 地震水准测量规范[S]. 北京: 地震出版社, 2015.
- [11] 郭慧, 江娃利, 谢新生. 钻孔与探槽揭示 1976 年河北唐山 Ms7.8 地震发震构造晚第四纪强震活动[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(7): 1009-1028.

## Optimization of Cross-fault Deformation Movable Survey Site in Tangshan Area

LIU Hong-liang<sup>1</sup>, RAN Zhi-jie<sup>2</sup>, LIU Long<sup>2</sup>, ZHANG Zhan-wei<sup>1</sup>, YUN Meng<sup>1</sup>, PENG Yuan-qian<sup>2\*</sup>

(1. Flow Survey Team, Hebei Earthquake Agency, Baoding 071000, China;

2. Hebei Earthquake Agency, Shijiazhuang 050021, China)

**Abstract:** In view of the characteristics of concealed faults, based on the previous research results, the results of Tangshan active fault detection are fully utilized to carry out field investigation. According to the relevant regulations, the six sites are analyzed comprehensively according to the environmental conditions and natural conditions, and the suitable sites for the monitoring of cross-fault deformation movable survey are selected out.

**Key words:** Tangshan area; concealed fault ; cross-fault survey site optimization